

Benzo(a)pyren in der Luft berauchter und
unberauchter Räume vergleichsweise zur Außenluft

Diss. Erlangen.
1983

von
Lucia Greger
aus
Neusorg

1983 #249



Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41546202_0094

Aus dem Institut für Umwelthygiene und Präventivmedizin
der Universität Erlangen-Nürnberg

Vorstand: Professor Dr. med. Dr. med. dent. W. Gräf

Benzo(a)pyren in der Luft berauchter und unberauchter Räume vergleichsweise zur Außenluft

INAUGURAL – DISSERTATION

zur Erlangung der Doktorwürde

der Medizinischen Fakultät

der Friedrich - Alexander - Universität

Erlangen-Nürnberg

vorgelegt

von

Lucia Greger

aus

Neusorg

Gedruckt mit Erlaubnis der Medizinischen Fakultät
der Universität Erlangen-Nürnberg

Dekan: Prof. Dr. V. Becker
Referent: Prof. Dr.Dr. W. Gräf

Tag der mündlichen Prüfung: 04.07.1983

Gewidmet meinen Eltern

Inhaltsverzeichnis

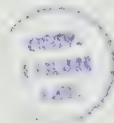
	Seite
1. <u>Einleitung: 3,4-Bp - einer der Hauptvertreter</u> der Kanzerogene	1
2. <u>Material und Methoden</u>	7
2.1. Probenahme - Ort, Zeit, Verfahrensweise der Probenahme	7
2.2. Analytik	8
2.2.1. Extraktion der Filter	8
2.2.2. Trennung des Extraktes - Säule - Papier- chromatographie	9
2.2.3. Spektralphotometrie	10
3. <u>Ergebnisse</u>	11
3.1. Berauchte Lokale im Sommer	11
3.2. Unberauchte Wohnräume und Raucherwohnung im Winter	24
3.3. Vergleiche zwischen Innenluft und Außenluft	26
3.4. Zusammenstellung aller Meßwerte	29
4. <u>Diskussion</u>	31
4.1. Vergleich der Lokale	31
4.2. Zusammenhang zwischen Staubgehalt der Luft und Bp-Konzentration	35
4.2.1. Raumluft	35
4.2.2. Außenluft	37

4.3.	Faktoren, welche die Bp-Anreicherung der Luft beeinflussen	37
4.3.1.	Jahreszeit	37
4.3.2.	Tageszeit	38
4.3.3.	Belüftung der Räume	39
4.3.4.	Weitere Faktoren	40
4.4.	Vergleich der Ergebnisse mit aus der Literatur bekannten Werten	40
4.5.	Belastung der menschlichen Lunge durch 3,4-Benzpyren - Beispiele	45
5.	<u>Zusammenfassung</u>	46
6.	<u>Literatur</u>	48

1. Einleitung: 3,4-Benzpyren - einer der Hauptvertreter der
Kancerogene.

Das 3,4-Benzpyren (BaP) ist unter den luftverunreinigenden polyzyklischen aromatischen Kohlenwasserstoffen die wohl meistuntersuchte Substanz. Allen polyzyklischen Aromaten ist gemeinsam, daß sie vorzugsweise bei der unvollständigen Verbrennung organischen Materials (Pyrolyse) entstehen. Benzpyren und verwandte Substanzen werden demnach von Gaswerken, Kokereien, Teerdestillationsanlagen, beim Straßenbau (Asphaltieren), in der Lackindustrie, Erdölindustrie, Kabelwerken, Isoliermaterialerzeugungen, Verbrennungsmotoren, Heizungen und allen Rußquellen emittiert. Sogar im Zigarettenrauch ist Benzpyren enthalten, und zwar rund 10 ng pro Zigarette (LOUB 1975). Unter der großen Gruppe der polyzyklischen aromatischen Kohlenwasserstoffe stellt das 3,4-Bp die Leitsubstanz mit der stärksten kanzerogenen Potenz dar (GRÄF 1976).

KENNAWAY und COOK fanden in den Jahren 1930 bis 1933 bei der Analyse der im Teer wirksamen Substanzen, daß bestimmte aromatische Kohlenwasserstoffe für die Krebserzeugung verantwortlich sind. Bereits POTT stellte 1775 einen Zusammenhang her zwischen dem Hautkrebs des Hodensackes und der langjährigen Rußexposition bei Schornsteinfegern. Die Rußpartikel lagerten sich in die Hautfalten ein und führten nach einer Langzeitexposition zum bekannten Hodenhautkrebs. Rund hundert Jahre später wurde beobachtet, daß Teerarbeiter gehäuft an Hautkrebs der Hände und Unterarme erkrankten.



Tierversuche, mit einzelnen Teerfraktionen an Mäusen durchgeführt, haben das 3,4-Benzpyren eindeutig als kanzerogen ausgewiesen. Andere Verbindungen aus der Kategorie der aromatischen polyzyklischen Kohlenwasserstoffe, wie etwa das 1,2-Benzpyren, erwiesen sich in Tierversuchen "nur" als synkanzerogen, d.h. sie bedürfen weiterer sog. Kokanzerogene, um krebsauslösend zu wirken. Das 3,4-Benzpyren wurde als klassischer Vertreter industrie- und zivilisationsbedingter Krebsnoxe in der Analytik ausgewählt und sowohl hinsichtlich Vorkommen als auch Wirkungsweise intensiv untersucht. Inzwischen ist sein ubiquitäres Vorkommen in der Luft, im Wasser, in Lebensmitteln und in der gesamten Umwelt bestätigt worden, so daß etwa in der Trinkwasserverordnung von 1975 ein Grenzwert von 0,25 µg/l festgelegt wurde. BORNEFF und KUNTE (1976) veranschlagten als jährliche Gesamtaufnahme kanzerogener Polyzyklen über die Nahrung und das Trinkwasser eine Menge von 1 bis 10 mg, bezogen auf 3,4-Benzpyren 0,1 bis 1 mg. KNORR und SCHENK (1968), bzw. GRÄF und DIEHL (1967) beschrieben sogar eine biogene Synthese von 3,4-Benzpyren in Bakterien und Pflanzen. Bei Untersuchungen an jungen grünen Pflanzen wurde ein 3,4-Bp-Gehalt von etwa 2 µg/100 g Trockensubstanz gefunden.

Neben der Aufnahme von kanzerogenen polyzyklischen Aromaten über die Nahrung und das Wasser muß aber vor allem die aerogene Belastung des Organismus berücksichtigt werden. WEISZ, BROCKHAUS und KÜNN untersuchten Humanlungengewebe in einem besonders stark emissionsbelasteten Gebiet (Bochum) und fanden trotz hoher Um-

weltbelastung (ca. 200µg/Jahr) nur bei 30% (Männer) bzw. 50% (Frauen) der Probanden 3,4-Benzpyren in der Lunge. Die Autoren ziehen daraus den Schluß, daß das an Staub adsorbierte 3,4-Benzpyren in den Alveolen abgelöst und schon in der Lunge abgebaut, oder aber in den Körper transportiert wird. Hiermit lassen sich die Ergebnisse von GRAF (1970/71) erklären, der in Gewebeproben menschlicher Organe einschließlich Skelettmuskulatur regelmäßig 3,4-Benzpyren in signifikanter Konzentrationsabhängigkeit vom Lebensalter nachwies.

Ein Grenzwert, von dem ab 3,4-Benzpyren karzinogen wirkt, ist nicht zu ermitteln. Nach BORNEFF und KUNTE (1976) löst 1mg Benzpyren einmal auf Mäusehaut appliziert nach spätestens ein-einhalb Jahren zu 100% Karzinome aus, doch sollen auch geringe Mengen noch wirksam sein. Perkutan verabfolgt kann bei Mäusen bereits 1µg ein Karzinom auslösen. Aufgrund der Schwierigkeiten hinsichtlich Applikationsbereich, Expositionsdauer, Wirkmenge usw. werden z.B. für Arbeitsplätze keine MAK-Werte angegeben, um nicht den Eindruck zu erwecken, daß Mengen unterhalb dieser Schwelle unbedenklich seien!

Andererseits darf man die polyzyklischen Aromaten als krebsauslösende Ursachen nicht isoliert betrachten, sondern muß alle etwa in einem Aerosol enthaltenen Stoffe im Sinne einer Synergiekanzerogenese miteinbeziehen. Beim Rauchen kommen zur normalen aerogenen Belastung der Lunge noch über 400 Einzelstoffe aus dem Zigarettenrauch, von denen eine beachtliche Menge als tumorerezeugend

gend bzw. -fördernd erkannt sind (polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe, Nitrosamine, Arsen, aromatische Amine, CO, SO₂, NO u.a.m.). So kann die Entstehung etwa von Lungenkrebs bei Rauchern aufgrund einer Vielzahl von Untersuchungen als bewiesen angesehen werden, wobei dessen Ätiologie vielschichtig ist.

Krebserkrankungen sind mittlerweile nach Herz- und Kreislaufinsuffizienz an 2. Stelle der Todesursachen in der Bundesrepublik. Dabei steht der Lungenkrebs, der in den letzten Jahrzehnten zunehmend häufiger geworden ist, mit einem Anteil von 25% neben dem Magenkarzinom an der Spitze der menschlichen Krebstatistik. Die ständige Häufigkeitszunahme - in den letzten Jahren auch bei Frauen - geht aus zahlreichen Sammelstatistiken eindeutig hervor (1920: 5%, 1930: 12%, 1960: über 20%). Die Hauptrolle in der Ätiologie spielen, wie schon erwähnt, die kanzerogenen Substanzen in der Umwelt des Menschen. Demzufolge besteht, wie aus zahlreichen Anamnesen und Krebstudien hervorgeht, ein signifikanter Unterschied z.B. in der Häufigkeit des Bronchialkarzinoms bei starken Rauchern und Nichtrauchern, Arbeitern bei starker und solchen bei geringer Benzpyren-Exposition.

Der Zusammenhang zwischen Bronchialkarzinom und Rauchen wurde 1929 in Deutschland von LICKINT festgestellt. Heute läßt sich sagen, daß das Risiko, an einem Lungenkrebs zu sterben, bei Zigarettenrauchern etwa um einen Faktor steigt, der der Anzahl

täglich gerauchter Zigaretten entspricht; d.h. ein gesunder Mensch, der täglich 25 Zigaretten raucht, läuft die 25fache Gefahr, an einem Lungenkrebs zu sterben, als ein Nichtraucher vom selben Alter und Geschlecht (WYNDER 1968). Für Nichtraucher kommt neben der aerogenen Umweltbelastung durch Schadstoffe noch diejenige durch die Raucher hinzu, insbesondere in schlecht gelüfteten Räumen.

Hierzu wurde der Begriff des Passivrauchens geprägt. Dieser Begriff ist seit etwa zehn Jahren im Gespräch. Grundsätzlich ist zu unterscheiden zwischen Langzeit- und Kurzzeitpassivrauchern, wobei man zu den Langzeitpassivrauchern diejenigen Personen zählt, die über einen längeren Zeitraum hinweg konstant einer relativ hohen Emissionskonzentration ausgesetzt sind, wie z.B. Kellner, Wirte, Disjockeys u.a. Kurzzeitraucher dagegen sind gelegentliche Lokalbesucher bzw. allgemein Personen, die hin und wieder sich in Gesellschaft von Rauchern befinden. Jeder Raucher ist immer zugleich ein Passivraucher, da er neben dem inhalierten Hauptstromrauch zusätzlich den Nebenstromrauch seiner Zigarette aufnimmt.

Die verschiedenen Faktoren, die für den Nichtraucher eine Belästigung bzw. Belastung psychischer und organischer Art (3,4-Benzpyren ist nur ein Faktor) darstellen, sind in den letzten Jahren eingehend untersucht worden. Es würde zu weit führen, auf alle Studien einzugehen. Umfassende Übersichten finden sich bei SCHIEVELBEIN (1978), SCHMELTZ (1975) und VALENTIN (1978).

Zur Erweiterung unserer Kenntnisse, insbesondere im Hinblick auf die Frage, welchen 3,4-Benzpyren-Konzentrationen ein sog. Passivraucher in Erlangen ausgesetzt ist, und welche Mengen an 3,4-Benzpyren er demgegenüber in "frischer Luft" einatmet, haben wir nachfolgend beschriebene Messungen in Lokalen (Sommer 1980) bzw. in der Außenluft von Erlangen (Winter 1981) vorgenommen.

2. Material und Methoden

2.1. Probenahme - Ort, Zeit, Verfahrensweise der Probenahme

Für die Untersuchung Bp-haltiger Luft, der ein Passivraucher unter "life-Bedingungen" ausgesetzt ist, wählten wir sieben berauchte Lokale verschiedener Art aus:

- ein Speiselokal
- zwei Weinlokale
- eine Bar
- zwei Diskotheken
- ein Jazzklubraum.

Die Messungen fanden im Sommer 1980 statt.

Um einen Vergleich zur Bp-Belastung einer Wohnraumluft zu erhalten, nahmen wir weitere Messungen in einer Raucherwohnung, Nichtraucherwohnung und einem unberauchten Kellerraum vor. Diese Räume befinden sich in demselben Haus, d.h. sie sind in etwa dem gleichen Ausmaß der Luftverschmutzung durch den Straßenverkehr ausgesetzt (mäßig stark befahrene Straßenkreuzung mit Busverkehr). Die Luftproben wurden im Januar 1981 genommen.

Ferner interessierte uns der Einfluß Bp-haltiger Außenluft auf die Innenluft unberauchter Räume. Zu diesem Zweck wurde die Innenluft verschiedener Räume gemessen, und im Vergleich dazu die entsprechende Außenluft analysiert. Diese Messungen fanden im März 1981 (also noch während der Heizperiode) statt.

Als Gerät zum Aufsaugen der zu analysierenden Schwebeteilchen in der Luft diente ein Sartorius SM 13400 Keimsammelgerät, wobei Glasfaserfilter des Typs SM13400 vorgeschaltet wurden, die nach DIN 24184 alle Partikel größer 0,3-0,4 μm Durchmesser zu 99,9% zurückhalten. Das Leergewicht der Filter wurde vor der Messung jeweils registriert.

Während des Meßvorgangs befand sich die Filterhalterung in Kopfhöhe - entsprechend der Sitzposition in den einzelnen Lokalen - in ca. 1,00-1,30 m vom Boden entfernt. Die Dauer der Messung sowie das Volumen der jeweils eingesaugten Luft wurden registriert, ebenso die Zahl der Besucher und die Anzahl der innerhalb der Meßzeit abgerauchten Zigaretten festgehalten. Weitere, für die Luftanalysen wichtige Parameter, wie Ventilation der Räume etc. wurden aufgezeichnet.

Die berauchten Filter waren, in Petrischalen isoliert verschlossen, bis zur gemeinsamen Analytik im Dunkeln aufbewahrt.

2.2. Analytik

2.2.1. Extraktion der Filter

Vor der chemischen Analyse wurden die Filter ausgewogen und die jeweilige Gewichtszunahme errechnet. Alle verwendeten Chemikalien waren p.a. und wurden in Form von Blindproben wiederholt im Analysengang mitlaufen gelassen. Die kleingeschnittenen Filter wurden im Soxhletapparat mittels Zyklohexan für eine Dauer von fünf Stunden extrahiert, der Extrakt anschließend bis zur

Trockene eingeengt und der Rückstand unter mehrfachem Ausspülen des Kolbens mit Benzol in ein Porzellanschälchen übergeführt.

2.2.2. Trennung des Extraktes - Säule - Papierchromatographie

Die so entstandene Lösung wurde zur Vorreinigung auf eine mit aktiviertem Al_2O_3 gefüllte Säule aufgetragen, das Porzellanschälchen dabei so lange mit wenig Benzol nachgespült, bis unter der UV-Lampe keine Fluoreszenz der Lösung mehr erkennbar war. Das Filtrat wurde in einem 75ml fassenden Porzellanschälchen aufgefangen. Die Vollständigkeit der Säulenextraktion war in Vorversuchen ermittelt worden. Nach erneutem Einengen bis zur Trockene und Lösen des Rückstandes mit ca. 1-3ml Benzol erfolgte das punktförmige Auftragen der Lösung mittels Glaskapillare auf das Chromatographiepapier (Macherey, Nagel & Co MN 214, AC-20, Ch.36). Die chromatographische Trennung erfolgte zweidimensional; als Laufmittel diente Methanol (120ml) : Ether (120ml) : Aqua bidest. (30ml). Nach Trocknung des Papiers wurde der 3,4-Bp-Fleck unter UV-Licht markiert, ausgeschnitten und die zerkleinerten Papierstücke mit geringer Menge erhitzten Benzols mehrmals extrahiert und die vereinigten Extrakte in eine Quarzküvette übergeführt.

2.2.3. Spektralphotometrie

Die vereinigten Eluate wurden auf 1ml eingeeengt und sofort spektralphotometrisch (selbstregistrierendes Spektralphotometer, Modell DK 2, Firma Beckmann) im Wellenlängenbereich 400-370 nm analysiert. Die charakteristische Absorptionskurve erlaubte eine Identifizierung sowie gleichzeitig durch Ausmessung des Extinktionsmaximums bei 388 nm eine quantitative Bestimmung des 3,4-Benzpyrens.

Zum Ausgleich von Extraktions- bzw. Chromatographieverlusten mußten die gefundenen Bp-Werte mit dem vorher ermittelten Korrekturfaktor 1,136 (Lokalmessungen) bzw. 1,350 (Innen-/Außenluftmessungen) multipliziert werden.

3. Ergebnisse

3.1. Berauchte Lokale im Sommer

Die Bestimmungen des 3,4-Bp-Gehaltes verrauchter Luft, gemessen in den Lokalen A bis G sollen und können nur Beispiele dafür sein, welchen kanzerogenen Belastungen ein Lokalbesucher als sogenannter Passivraucher ausgesetzt ist. Es ist verständlicherweise nicht möglich, unter gleichen Voraussetzungen zu messen. In Tabelle 1 sind die verschiedenen Ausgangssituationen, die wir in den Lokalen fanden, zusammengestellt. Um eine vergleichbare Größe zu erhalten, wurde ein sog. Korrelationsfaktor errechnet, der die im jeweiligen Raum vorherrschende Zigarettenrauchbelastung in der Einheit: Zahl der abgerauchten Zigaretten pro 100m³ Raumvolumen angibt. Die Gesamtzigarettenzahl ist die Summe aller im Untersuchungszeitraum des jeweiligen Lokals abgerauchten Zigaretten.

Tabelle 1: Besucherzahl, Raumgröße und Zahl der abgerauchten Zigaretten im Untersuchungszeitraum in den Lokalen A bis G

Lokal	Zahl der Besucher	Größe des Raumes(m ³)	Zahl der Zigaretten	Korrelationsfaktor *
A	60	450	54	12,0
B	150	243	50	20,6
C	75	400	105	26,3
D	242	273	206	75,5
E	70	100	161	161,0
F	60	150	47	31,3
G	60	250	51	20,4

* Korrelationsfaktor zur Vergleichbarkeit der Belastung der Besucher durch Zigarettenrauch in den einzelnen Lokalen:

Zahl der abgerauchten Zigaretten/100m³ Luft.

Aus Tabelle 1 ist deutlich zu erkennen, daß man nicht verschnell aus der Gesamtzahl der in einem Lokal gerauchten Zigaretten auf ein zu erwartendes Meßergebnis schließen darf; Ausschlaggebend ist die relative Berauchung, also der Korrelationsfaktor.

Lokal A

Bei Lokal A handelt es sich um den Kellerraum eines Studentenhauses mit Barbetrieb. Dieser Raum, mit einem Volumen von 450m^3 , war zu Beginn der Messung unberaucht, frisch belüftet und während der Meßzeit nach zwei Seiten hin zu Nebenräumen geöffnet. Vier Abzugsklappen waren in Betrieb. Bei der ersten Messung befand sich der Apparat an einem Ende, bei der zweiten Messung direkt auf der Theke an der entgegengesetzten Seite des Saales. Die erste Luftprobe wurde von 20.40 bis 21.15 Uhr (35min), die zweite von 21.20 bis 22.50 Uhr (90min) entnommen. Es waren insgesamt 60 Personen anwesend. Die Zahl der während der Meßzeit abgerauchten Zigaretten betrug 54 Stück, was bedeutet, daß 12 Zigaretten 100m^3 Raumlufte belasteten.

Tabelle 2: Ermittelte Mengen an 3,4-Bp und Staub der Raumlufte in Lokal A

Filter	Meßzeit(min)	3,4-Bp(ng/m^3)	Staub($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
1.	35	0,46	267,44
2.	90	0,66	767,68

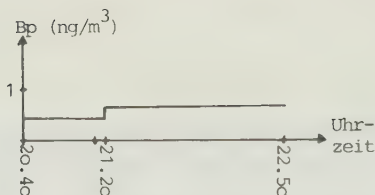


Abb. 1: Menge an 8,4-Bp aus einem Zeitraum von 20.40 bis 21.15 Uhr bzw. von 21.20 bis 22.50 Uhr in Lokal A (Kellerraum eines Studentenhauses), Sommer 1980.

Lokal B

Lokal B ist eine vielbesuchte Kellerdiskothek. Der Raum, in dem die Messungen vorgenommen wurden, hatte ein Raumaß von 243m^3 und war nach zwei Seiten hin in Nebenräume übergehend. Drei starke Ventilatoren waren ständig in Betrieb. Es fanden drei Messungen statt, von 21.06 bis 22.06 Uhr, von 22.06 bis 23.06 Uhr und von 23.06 bis 24.06 Uhr (je 60min), wobei der Apparat in der Nähe der Theke aufgestellt war. Die Zahl der Besucher bis zum Ende der Meßzeit betrug 150 Personen, die Zahl der insgesamt abgerauchten Zigaretten 50 Stück. Somit wurden in diesem Lokal $20,6 \text{ Zigaretten}/100\text{m}^3$ Raumluft verrauchet.

Tabelle 3: Ermittelte Mengen an 3,4-Bp und Staub der Raumluft
in Lokal B

Filter	Meßzeit(min)	3,4-Bp(ng/m^3)	Staub($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
1.	60	1,63	447,83
2.	60	2,35	663,83
3.	60	2,29	734,38

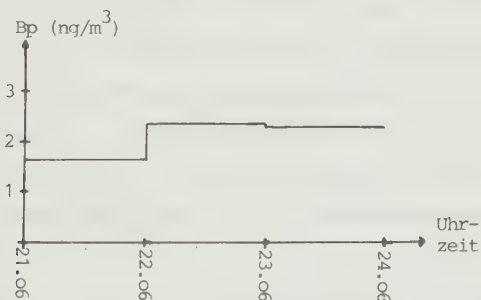


Abb. 2: Menge an 3,4-Bp aus einem Zeitraum von 21.06 bis 22.06
Uhr, von 22.06 bis 23.06 Uhr und von 23.06 bis 24.06 Uhr in
Lokal B (Diskothek), Sommer 1980

Lokal C

Lokal C ist ein Jazzklubraum von 400m^3 Größe. Während der Messungen 1 und 3 wurde eine Türe, die zum Garten hinausführt, geöffnet. Neben der Deckenbelüftung waren ein Ventilator und ein Luftquirl in Betrieb. Das Meßgerät stand auf der Galerie, in etwa 2,50m Höhe. Die erste Messung von 20.00 bis 20.20 Uhr (20min) entspricht einer Leerwertbestimmung, da zu dieser Zeit der Raum frisch belüftet und noch nicht frequentiert war. Zwei weitere Proben wurden von 20.20 bis 21.35 Uhr (75min) und von 21.35 bis 23.30 Uhr (115min) entnommen. Es waren insgesamt 75 Lokalbesucher anwesend, die im Laufe der Meßzeit eine Gesamtzahl von 105 Zigaretten rauchten, was einer Menge von 26,3 Zigaretten/ 100m^3 Raumluft entspricht.

Tabelle 4: Ermittelte Mengen an 3,4-Bp und Staub der Raumluft in Lokal C

Filter	Meßzeit(min)	3,4-Bp(ng/m^3)	Staub($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
1.	20	0,00	266,66
2.	75	1,25	530,82
3.	115	3,06	874,61

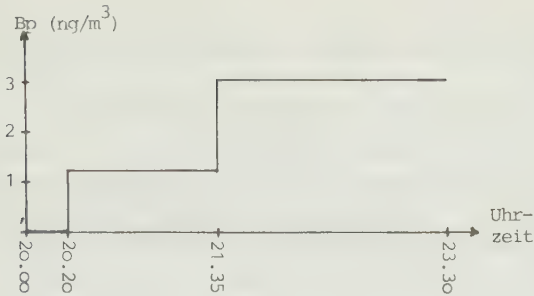


Abb. 3: Menge an 3,4-Bp aus einem Zeitraum von 20.00 bis 20.20 Uhr, von 20.20 bis 21.35 Uhr und von 21.35 bis 23.30 Uhr in Lokal C (Jazzklubraum), Sommer 1980

Lokal D

Lokal D ist ein Speiseraum, bestehend aus einem einzigen Raum mit 273m^3 Volumen. Über die "Durchreiche" bestand eine offene Verbindung zur Küche. Die Fenster blieben geschlossen. Während der Messungen 1 und 2 war ein einziger Ventilator in Betrieb, bei Messung 3 wurde ein weiterer dazugeschaltet. Der Meßapparat befand sich zwischen den Tischen, an einer Stelle durchschnittlicher Berauchung. Die Luftproben wurden in der Zeit von 17.45 bis 18.55 Uhr (70min), von 19.00 bis 19.45 Uhr (45min) und von 19.45 bis 20.45 Uhr (60min) entnommen. Bei einer Besucherzahl von 242 Personen wurden bis zum Ende der Meßzeit insgesamt 206 Zigaretten, d.h. $75,5/100\text{m}^3$ Raumluft geraucht.

Tabelle 5: Ermittelte Mengen an 3,4-Bp und Staub der Raumluft
in Lokal D

Filter	Meßzeit(min)	3,4-Bp(ng/m^3)	Staub($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
1.	70	1,92	630,81
2.	45	4,07	1842,10
3.	60	1,64	734,85

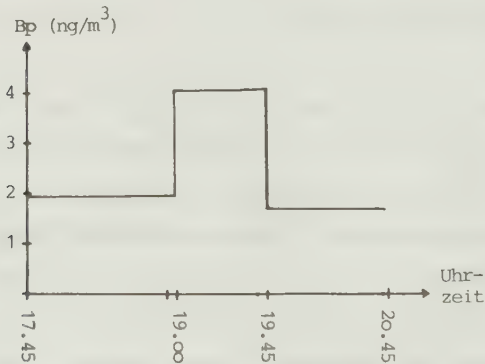


Abb. 4: Menge an 3,4-Bp aus einem Zeitraum von 17.45 bis 18.55
Uhr, von 19.00 bis 19.45 Uhr und von 19.45 bis 20.45 Uhr in
Lokal D (SpeisereRestaurant), Sommer 1980

Lokal E

Lokal E ist eine Diskothek, bestehend aus mehreren, miteinander in offener Verbindung stehenden Kellerräumen. Die Messung fand in dem kleinsten der Räume statt, dessen Volumen 100m^3 betrug. Luftumverteilung erfolgte konstant über 4 Deckenabzugsklappen und eine Zuluftdüse mit Außenluft. Das Meßgerät stand in der Nähe der Theke. Luftproben wurden von 19.45 bis 20.10 Uhr (25min), von 20.10 bis 21.10 Uhr (60min) und von 21.10 bis 22.10 Uhr (60min) entnommen. Probe 1, zur Zeit der Öffnung des Lokals vor dem Eintreffen der ersten Besucher entnommen, gibt dabei den Grundpegel von 3,4-Bp an. Während der Messungen war der Raum von 70 Personen frequentiert, wobei bis zum Endpunkt der letzten Probenahme insgesamt 161 Zigaretten abgeraucht wurden, das sind 161 Zigaretten/ 100m^3 Raumluft.

Tabelle 6: Ermittelte Mengen an 3,4-Bp und Staub der Raumluft in Lokal E

Filter	Meßzeit(min)	3,4-Bp(ng/m^3)	Staub($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
1.	25	4,43	273,68
2.	60	11,21	2645,74
3.	60	7,93	1729,73

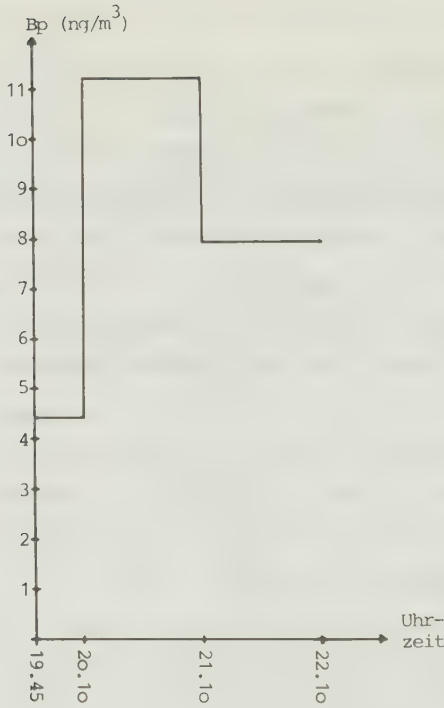


Abb. 5: Menge an 3,4-Bp aus einem Zeitraum von 19.45 bis 20.10 Uhr, von 20.10 bis 21.10 Uhr und von 21.10 bis 22.10 Uhr in Lokal E (Diskothek), Sommer 1980

Lokale F und G

F und G benennen zwei verschiedene, voneinander getrennt liegende Räume eines Weinkellers. Raum F ist 150m^3 groß; während der Probenahme war ein Ventilator in Betrieb. Die Messungen fanden von 20.05 bis 20.30 Uhr (25min) und von 20.35 bis 21.05 Uhr (30min) statt. Es waren in diesem Raum 60 Personen anwesend, wobei innerhalb der Meßzeit eine Gesamtzahl von 47 Zigaretten geraucht wurden ($31,3$ Zigaretten/ 100m^3 Raumluft).

Raum G ist 250m^3 groß und nach zwei Seiten hin geöffnet. 3 Deckenventilatoren waren ständig in Betrieb. Die Zahl der während der Messungen anwesenden Personen betrug 60, die Zahl der insgesamt gerauchten Zigaretten 51 Stück ($20,4$ Zigaretten/ 100m^3 Raumluft). Gemessen wurde von 21.10 bis 21.25 Uhr (15min) und von 21.30 bis 22.30 Uhr (60min).

Tabelle 7: Ermittelte Mengen an 3,4-Bp und Staub der Raumluft in Lokal F

Filter	Meßzeit(min)	3,4-Bp(ng/m^3)	Staub($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
1.	25	8,27	2514,56
2.	30	14,80	3031,00

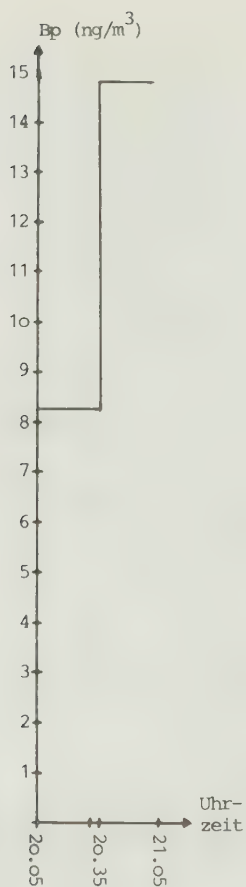


Abb. 6: Menge an 3,4-Bp aus einem Zeitraum von 20.05 bis 20.30

Uhr und von 20.35 bis 21.05 Uhr in Raum F (Weinkeller),

Sommer 1980

Tabelle 8: Ermittelte Mengen an 3,4-Bp und Staub der Raumluft
in Lokal G

Filter	Meßzeit(min)	3,4-Bp(ng/m^3)	Staub($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
1.	15	9,28	1666,60
2.	60	6,25	1248,99

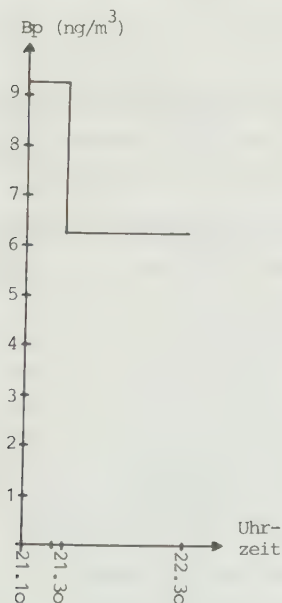


Abb. 7: Menge an 3,4-Bp aus einem Zeitraum von 21.10 bis 21.25
Uhr und von 21.30 bis 22.30 Uhr in Raum G (Weinkeller), Sommer 1980

3.2. Unberauchte Wohnräume und Raucherwohnung im Winter

Als Beispiel für die 3,4-Bp-Belastung, der ein Mensch in einer im Verhältnis zu Lokalen mäßig berauchten Wohnraumluft bzw. in einer Nichtraucherwohnung ausgesetzt ist, wurden die im folgenden beschriebenen Räume H bis L untersucht. Aus Tabelle 9 sind die jeweiligen Luftqualitäten in Bezug auf Benzpyren- und Staubgehalt ersichtlich.

Raum H

Raum H stellt eine Nichtraucherwohnung von 306m^3 Größe dar, die im 4. Stock eines Hauses, an einer mäßig stark befahrenen Kreuzung liegt. Das Meßgerät war in der Mitte der Wohnung aufgestellt. Die Fenster blieben geschlossen, die Türe zur Küche hin geöffnet. Die Messung fand im Januar 1981 statt; sie dauerte von 10.40 bis 13.10 Uhr (150min).

Raum I

Im Vergleich zu H wurde eine Raucherwohnung I, im 5. Stock des gleichen Hauses gelegen, untersucht. Die Wohnung hat eine Größe von 128m^3 und wird täglich mit etwa 50 Zigaretten beraucht ($39,1 \text{ Zigaretten}/100\text{m}^3 \text{ Raumluft}$). Während der Messung von 18.50 bis 20.35 Uhr (105min) blieben Fenster und Türen geschlossen. Der Apparat befand sich in der Mitte des Raumes. Die Probe wurde ebenfalls im Januar 1981 entnommen.

Raum K und L

Ein in demselben Haus gelegener Kellerraum, der mit Sicherheit nicht beraucht ist, wurde an zwei aufeinanderfolgenden Tagen untersucht. Der Raum mit einer Größe von 113m^3 wird über Schachtverbindungen zur Straße hin belüftet. Die Messung K fand von 20.20 bis 22.45 Uhr (145min) und die Messung L von 8.55 bis 11.20 Uhr (145min) im Januar 1981 statt. Da der Kellerraum an den zwei Meßtagen signifikant unterschiedliche Bp-Konzentrationen aufweist, werden die Messungen hier mit K (abends) und L (vormittags) benannt.

Die Ergebnisse der Messungen H bis L sind in Tabelle 9 niedergelegt.

Tabelle 9: Ermittelte Mengen an 3,4-Bp und Staub in der Raumluft der Räume H bis L

Raum	Meßzeit(min)	3,4-Bp(ng/m^3)	Staub($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
H	150	0,25	211,93
I	105	2,44	377,36
K	145	7,01	143,33
L	145	9,85	250,00

3.3. Vergleiche zwischen Innenluft und Außenluft

Um Vergleiche zwischen unberauchter Raumluft und Außenluft im Winter anstellen zu können, wurden die im folgenden beschriebenen Räume des Instituts für Umwelthygiene und Präventivmedizin der Universität Erlangen und die sie unmittelbar umgebende Außenluft untersucht.

Raum M

Das Dienstzimmer M, im 1. Stock des Instituts gelegen, hat ein Raumvolumen von 68m^3 . Bei geschlossenem Fenster wurden $62,0\text{m}^3$ Innenluft angesaugt (M_i). Darin enthalten war eine Staubmenge von $1,9\text{mg}$. Die Messung der Außenluft (M_a) erfolgte vor dem zum Schließpark hin geöffneten Fenster desselben Raumes. Die eingesaugte Luftmenge betrug hier $61,4\text{m}^3$, die Staubmenge $3,5\text{mg}$.

Tabelle 10: Ermittelte Mengen an 3,4-Bp und Staub der Innen- und Außenluft von Raum M

Messung	Meßzeit(min)	3,4-Bp(ng/m^3)	Staub($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
M_i	120	0,64	30,65
M_a	120	3,75	57,00

Raum N

Das Bibliothekszimmer N ist 25m^3 groß und im 2. Obergeschoß des Institutes gelegen. Es wurden $61,7\text{m}^3$ Raumluft (N_1) untersucht, wobei das Staubgewicht $2,4\text{mg}$ betrug. Unmittelbar anschließend an diese Messung wurden vor dem zum Innenhof geöffneten Fenster $89,9\text{m}^3$ Außenluft (N_a) aufgenommen. Aus der Filtergewichtsdifferenz ergab sich eine Staubmenge von $4,0\text{mg}$.

Tabelle 11: Ermittelte Mengen an 3,4-Bp und Staub der Innen- und Außenluft von Raum N

Messung	Meßzeit(min)	3,4-Bp(ng/m^3)	Staub($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
N_1	120	2,59	38,89
N_a	170	8,23	44,49

Raum O

Raum O ist ein Labor von 184m^3 Größe, im 1. Obergeschoß gelegen und frei von Rauch und Schadstoffen. Es wurden bei geschlossenen Fenstern $66,7\text{m}^3$ Innenluft (O_1) angesaugt, weraus sich ein Staubgewicht von $2,4\text{mg}$ errechnete. Im Anschluß an diese Messung wurde durch das zum Innenhof geöffnete Fenster die Außenluft (O_a) angesaugt. Bei einer Luftmenge von $58,5\text{m}^3$ betrug das Staubgewicht $6,0\text{mg}$.

Tabelle 12: Ermittelte Mengen an 3,4-Bp und Staub der Innen- und Außenluft von Raum O

Messung	Meßzeit(min)	3,4-Bp(ng/m^3)	Staub($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
O ₁	145	0,75	35,98
O _a	120	2,91	102,56

Raum P

Zusätzlich wurde die Luft eines nicht mehr benutzten Sterilitäts-raumes P gefiltert. Raum P ist 20m^3 groß, liegt im 2. Obergeschoß und ist von jeglichem Verkehr abgewendet. Es wurden $62,5\text{m}^3$ Luft (P_1) eingesaugt. Das Staubgewicht betrug dabei 2,4mg. Da das Fenster nicht zu öffnen ist, wurde als Vergleichsaußenluft (P_a) die Luft vor dem unmittelbar daneben liegenden Bibliotheksraum eingesaugt. Bei dieser Probenahme von $69,2\text{m}^3$ wurde ein Staubgewicht von 4,2mg errechnet.

Tabelle 13: Ermittelte Mengen an 3,4-Bp und Staub der Innen- und Außenluft von Raum P

Messung	Meßzeit(min)	3,4-Bp(ng/m^3)	Staub($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
P ₁	125	0,64	38,40
P _a	140	8,24	60,69

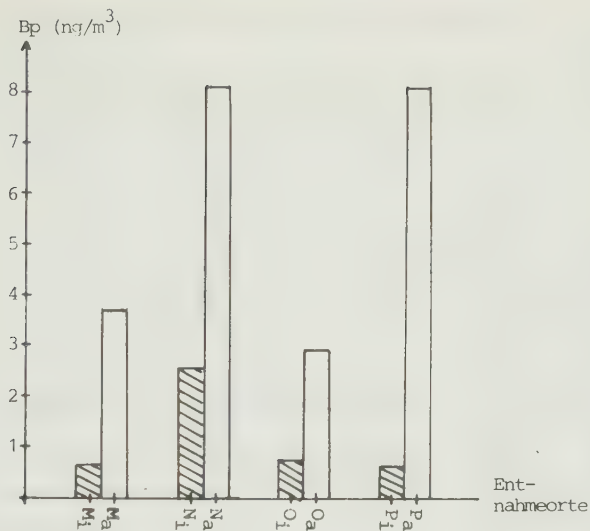


Abb. 8: Verhältnis der 3,4-Bp-Mengen der Innenluft zur Außenluft der Räume M bis P, Winter 1981

3.4. Zusammenfassung aller Meßwerte

Zur allgemeinen Übersicht sind sämtliche Meßwerte an 3,4-Bp und Staub der Lokale A bis G, der Räume H bis L und der Innen- und Außenluft der Räume M bis P in Tabelle 14 zusammengestellt.

Tabelle 14: Zusammenstellung aller Maßwerte an 3,4-Bp und Staub

Messung	Staub($\mu\text{g}/\text{m}^3$)		Mittelwert	3,4-Bp(ng/m^3)		Mittelwert
A	1.	267,44	517,56	0,46	0,56	
	2.	767,68		0,66		
B	1.	447,83	615,35	1,63	2,09	
	2.	663,83		2,35		
	3.	734,38		2,29		
C	1.	266,66	557,36	0,00	2,16	
	2.	530,82		1,25		
	3.	874,61		3,06		
D	1.	630,81	1069,25	1,92	2,54	
	2.	1842,10		4,07		
	3.	734,85		1,64		
E	1.	273,68	1549,72	4,43	7,86	
	2.	2645,74		11,21		
	3.	1729,73		7,93		
F	1.	2514,56	2772,78	8,27	11,54	
	2.	3031,00		14,80		
G	1.	1666,60	1457,80	9,28	7,77	
	2.	1248,99		6,25		
H		211,93		0,25		
I		377,36		2,44		
K		143,33		7,01		
L		250,00		9,85		
M ₁		30,65	35,98	0,64	1,16	
N ₁		38,89		2,59		
O ₁		35,98		0,75		
P ₁		38,40		0,64		
M _a		57,00	66,19	3,75	5,78	
N _a		44,49		8,23		
O _a		102,56		2,91		
P _a		60,69		8,24		

4. Diskussion

4.1. Vergleich der Lokale A bis G

Wie aus Tabelle 14 zu entnehmen ist, sind die Lokale A bis G (G gehört im weitesten Sinne zu F) nach steigendem 3,4-Bp-Gehalt ihrer Raumluft geordnet. Da sich der Zigarettenrauch im gesamten Raum verteilt, läßt sich zunächst weder aus der Anzahl der jeweils abgerauchten Zigaretten, noch aus der Raumgröße auf ein zu erwartendes Meßergebnis schließen. Ausschlaggebend ist, neben vielen Faktoren, auf die in 4.3. noch eingegangen werden soll, die Korrelation Zigarettenzahl/Volumeneinheit, in unserem Fall Zigarettenzahl/100m³ Raumluft.

Je größer die relative Zigarettenzahl, desto höher ist die Bp-Konzentration der Luft. Ein linearer Zusammenhang ist bei den ungleichen, nicht standardisierbaren Voraussetzungen in den Lokalen nicht gegeben. Die Lokale F und G verzeichnen im Verhältnis zur jeweils abgerauchten Zigarettenzahl signifikant höhere 3,4-Bp-Werte.

Tabelle 15: Mittlere 3,4-Bp-Konzentration der Lokale A bis G
in Relation zur Zahl der abgerauchten Zigaretten pro 100m³ Luft.

Lokal	Zig./100m ³	3,4-Bp(ng/m ³)
A	12,0	0,56
B	20,6	2,09
C	26,3	2,16
D	75,5	2,54
E	161,0	7,86
F	31,3	11,54
G	20,4	7,77

Es ist zu erwarten, daß unter experimentellen Bedingungen, bei Ausschaltung jeglicher Störgröße, der 3,4-Bp-Gehalt einer berauchten Luft linear zum Nebenstromrauch ansteigt. Bei Untersuchungen in öffentlichen Lokalen ist es jedoch nicht möglich, einheitliche Meßbedingungen zu schaffen. In Raum F (Weinlokal) wird trotz relativ niedriger Zigarettenzahl die höchste Konzentration an 3,4-Bp gemessen, was vermutlich durch die allgemein ungenügende Belüftung während der Tageszeit erklärt werden kann.

Die jeweils erste Messung in den Lokalen A, B, C, E und F bestimmt den Grundpegel an vorhandenem Benzpyren vor der eigent-

lichen Berauchung. Lediglich Lokal C hat dabei einen so geringen Bp-Wert zu verzeichnen, daß dieser mit der beschriebenen Meßmethode nicht mehr erfaßbar war und als absoluter Leerwert gelten kann. In den übrigen Räumen finden sich nicht zu vernachlässigende Ausgangskonzentrationen an 3,4-Bp. Die Gründe hierfür sind mit Sicherheit in der unzureichenden Belüftung während und zwischen den Öffnungszeiten der Lokale zu suchen. In Restaurant D und Weinlokal G waren zum Zeitpunkt der ersten Messung schon Gäste anwesend, und die Luft war unmittelbar zuvor mit einer gewissen Anzahl von Zigaretten beraucht worden. Diese Zigarettenzahl geht in die Berechnung nicht mit ein.

Tabelle 16: Ausgangskonzentrationen an 3,4-Bp

Lokal	3,4-Bp(ng/m^3)
A	0,46
B	1,63
C	0
D	1,92
E	4,43
F	8,27
G	9,28

Erwartungsgemäß steigt der Bp-Wert im Laufe der Meßzeit, d.h. mit zunehmender Berauchung an. Mit Ausnahme von Lokal G ist in allen Fällen der zweite Meßwert jeweils signifikant höher als der erste. Ein weiterer dritter Meßwert zeigt in Lokal C ebenfalls steigende Tendenz. In den Lokalen B, D und E ist hingegen eine fallende Tendenz zu beobachten. Obwohl die Zahl der gerauchten Zigaretten zunimmt und die Luft, subjektiv beurteilt, im Laufe des Abends "schlechter" wird, steigt die 3,4-Bp-Konzentration also nicht kontinuierlich an. Lediglich in Lokal D wurde während der Meßzeit ein zweiter Ventilator zugeschaltet. Möglicherweise spielt die Sedimentation des Staubes, an welchen Benzpyren gebunden ist, eine nicht unbedeutende Rolle.

Aus der Art eines Lokals, ob Diskothek, Weinlokal oder Speiserautaurant, läßt sich - was dem ersten Anschein widerspricht - keinesfalls auf die Luftqualität, zumindest im Hinblick auf deren 3,4-Bp-Gehalt, schließen. So ist eine Diskothek nicht ohne weiteres gleichzusetzen mit "stark verrauchtem Lokal". Es wurden z.B. in Diskothek B über einen Zeitraum von drei Stunden 50 Zigaretten geraucht und ein durchschnittlicher 3,4-Bp-Gehalt von $2,09 \text{ ng/m}^3$ ermittelt, während in Diskothek E 161 Zigaretten innerhalb von zwei Stunden und 25 Minuten geraucht wurden und einen durchschnittlichen Bp-Gehalt von $7,86 \text{ ng/m}^3$ ergaben. Speiserautaurant D hat eine Höchstzahl von 206 Zigaretten innerhalb von zwei Stunden und 55 Minuten und eine durchschnittliche Bp-Konzentration von $2,54 \text{ ng/m}^3$ zu verzeichnen! Weinlokal F, in dem die Luftqualität nach subjektivem Empfinden als die schlechteste beurteilt wurde, rangiert auch an letzter Stelle bezüglich des Bp-Gehaltes mit einem höchsten Mittel-

wert von 11,54ng 3,4-Bp/m³ Raumlufte, obwohl nur 47 Zigaretten innerhalb von 55 Minuten geraucht worden waren. Das Kellerlokal war fensterlos, tagsüber kaum belüftet und mit nur einem Ventilator offensichtlich unterversorgt.

4.2. Zusammenhang zwischen Staubgehalt der Luft und 3,4-Bp-Konzentration

Neben dem "freien" Benzpyren, das durch sein rasches Absinken weniger gefährlich sein soll, kommt der überwiegende Teil des Benzpyrens an Feinstaub gebunden in der Luft vor (LOUB 1975). Nach MIGUEL und FRIEDLANDER (1978) sind ungefähr 75% des 3,4-Benzpyrens an Staubpartikel kleiner 0,26 µm assoziiert. Staub mit einer Partikelgröße von über 10µm gelangt nur bis in die Hauptbronchien, Partikel zwischen 10 und 5µm bis in die Bronchiolen und Staub von weniger als 5µm bis in die Alveolen.

4.2.1. Raumlufte

Ein Vergleich der in den Lokalen ermittelten Bp-Konzentrationen mit dem entsprechenden Staubgewicht der Luft ergibt, gemessen an den Mittelwerten, erwartungsgemäß folgendes: Je größer das Staubgewicht, desto höher die Bp-Konzentration! So steigen die Filtergewichte (Mittelwerte) in derselben Reihenfolge A bis F (G gehört im weitesten Sinne zu F), mit Ausnahme von Lokal C an (s. Tabelle 14). Diese Korrelation läßt sich nicht auf die sich

jeweils entsprechenden Einzelwerte von Staubgewicht und Bp-Gehalt übertragen. Ein linearer Zusammenhang zwischen der Zunahme an durchschnittlichem Staubgewicht und steigendem Bp-Wert ist nicht zu erkennen.

Eine mögliche Ursache für das geringere Gewicht der Filter von Lokal C, gemessen an dem hohen Bp-Gehalt, ist eventuell darin zu sehen, daß in diesem einzigen Fall der Meßapparat nicht wie sonst in ca. 1m Höhenabstand vom Boden, sondern auf der Galerie in ca. 2,5m Höhe stand, wo der grobkörnige Staub infolge der Sedimentation geringer konzentriert ist, aber das auf dem feineren Staub haftende Benzpyren aufgesammelt wurde.

Aus den Luftproben der Räume H bis L (s. Tabelle 14), die alle in dem gleichen Gebäude liegen, läßt sich folgendes erkennen: Die Raucherwohnung I weist den höchsten relativen Staubgehalt mit $377,36\mu\text{g}/\text{m}^3$ bei einem 3,4-Bp-Gehalt von $2,44\text{ng}/\text{m}^3$ auf. Bei der Nichtraucherwohnung H ergibt sich im Vergleich dazu der niedrigste Bp-Wert von $0,25\text{ng}/\text{m}^3$ bei einem Staubgewicht von $211,93\mu\text{g}/\text{m}^3$. Die höchsten Bp-Konzentrationen wurden in dem unbereachten Kellerraum K bzw. L gemessen: $7,01\text{ng}/\text{m}^3$ und $9,85\text{ng}/\text{m}^3$, wobei der Staubgehalt $143,33\mu\text{g}/\text{m}^3$ bzw. $250\mu\text{g}/\text{m}^3$ betrug. Ein Zusammenhang zwischen Staub- und Bp-Gehalt der Luft ist hier nicht herzustellen.

Die unbereachten Räume M_1 bis P_1 verzeichnen einen relativ niedrigen Bp-Mittelwert (den zweitniedrigsten nach Raum A) von $1,16\text{ng}/\text{m}^3$ bei einem mittleren Staubgewicht von $35,98\mu\text{g}/\text{m}^3$.

4.2.2. Außenluft

Die entsprechenden Außenluftmessungen M_a bis P_a , die im Winter 1981 durchgeführt wurden, ergeben einen mittleren Bp-Wert von $5,78 \text{ ng/m}^3$ und einen mittleren Staubgehalt von $66,19 \mu\text{g/m}^3$.

Zusammenfassend ist zu sagen: Die Außenluft im Winter weist einen mehr als fünffach höheren 3,4-Bp-Gehalt auf als die dazugehörige Innenluft!

4.3. Faktoren, welche die 3,4-Bp-Anreicherung der Luft beeinflussen

4.3.1. Jahreszeit

Wie aus der Literatur hinreichend bekannt, differieren die 3,4-Bp-Konzentrationen der Luft in Abhängigkeit von der Jahreszeit. Die Ergebnisse beweisen übereinstimmend, daß die Außenluft in der Heizperiode einen um ein Vielfaches höheren Bp-Gehalt aufweist als die Luft während der Nichtheizperiode (SEIFERT 1978, DEIMEL 1974). Nach LOUB (1975) ist der Bp-Gehalt der Luft im Winter 10 bis 20 mal so hoch wie im Sommer. In Hamburg war 1962 der Gehalt des Staubes an 3,4-Bp im Winter über 30 mal höher als im Sommer, die Bp-Mengen der Außenluft über 10 mal höher (HETTICHE 1964). Bei Untersuchungen über den Gehalt der Luft an polyzyklischen Kohlenwasserstoffen in 12 Städten des Landes Nordrhein-Westfalen (1966/67) stellte HETTICHE (1968) fest, daß der Aromatengehalt der Luft in Orten mit wenig Industrie im Juli nur 5% des

Februarwertes beträgt. Eine Industriestadt im Ruhrgebiet hat im Februar vergleichsweise die doppelte Belastung; sie sinkt dort im Juli nur auf 10% ab. Mit diesen Analysen wurden 13 polyzyklische Aromaten erfaßt. GRÄF fand bei seinen 3,4-Bp-Messungen in der Stadt Erlangen (1971/72) Spitzenwerte von über $40\mu\text{g}/100\text{m}^3$ Luft. Das steile Ansteigen der Benzpyrenwerte mit Beginn der kalten Jahreszeit könnte ein Beweis dafür sein, daß vor allem die Vielzahl der privaten Einzelfeuerungsanlagen in den Städten als wesentlicher luftverunreinigender Faktor zu Buche schlägt.

4.3.2. Tageszeit

Es ist zu erwarten, daß die Bp-Konzentration der Außenluft auch von der Tageszeit abhängig ist. Unsere Messungen K und L in einem unberauchten Kellerraum zeigen bei sonst gleichen Messbedingungen: Messung L am Vormittag (8.55 bis 11.20 Uhr, das sind 145 Minuten) ergibt $9,85\text{ng}$ 3,4-Bp/ m^3 und $250,00\mu\text{g}$ Staub/ m^3 . Hingegen ergibt Messung K am späten Abend (20.20 bis 22.45 Uhr, das sind 145 Minuten) $7,01\text{ng}$ 3,4-Bp/ m^3 und $143,33\mu\text{g}$ Staub/ m^3 .

Da die polyzyklischen Aromaten in diesem Fall hauptsächlich über die Schachtverbindungen von außen in den Kellerraum gelangen, liegt es nahe, das verstärkte Verkehrsaufkommen, welches durch den Berufsverkehr und die Omnibusse am Tage verursacht wird, für den höheren Bp- und Staubgehalt verantwortlich zu machen. Diese Beobachtung bedarf zu ihrer Bekräftigung weiterer differenzierter Untersuchungen.

4.3.3. Belüftung der Räume

Einer der wesentlichsten Faktoren, die die Bp-Anreicherung gerauchter Raumlufte beeinflussen, ist zweifelsohne die Belüftung. Zusätzlich zur natürlichen Außenluftzufuhr über Türen und Fenster spielen die raumlufthechnischen Anlagen eine bedeutende Rolle. In den von uns untersuchten Lokalen waren folgende Belüftungsanlagen in Betrieb (Luftumwälzung nicht bekannt):

Lokal A: 4 Abzugsklappen (Klappe nach außen ohne Ventilator)

Lokal B: 3 Ventilatoren (Mauerdurchbruch mit Ventilator)

Lokal C: 1 Ventilator, 1 Luftquirl, 1 Deckenabzugsklappe

Lokal D: 2 Ventilatoren (nacheinander eingeschaltet)

Lokal E: 4 Deckenabzugsklappen, 1 Zuluftdüse mit Außenluft

Lokal F: 1 Ventilator

Lokal G: 3 Ventilatoren

Von der Zahl der vorhandenen Belüftungsanlagen darf selbstverständlich kein direkter Schluß auf die zu erwartenden Bp-Konzentration der Raucherluft gezogen werden. Auffallend ist jedoch in diesem Zusammenhang, daß Raum F bei der im Vergleich zu den anderen Lokalen schwächsten Belüftungseinrichtung trotz relativ geringer Berauchung ($31,3$ Zigaretten/ 100m^3 Luft, in 55 Minuten geraucht) die höchste aller gemessenen Bp-Konzentrationen zu verzeichnen hat.

4.3.4. Weitere Faktoren

Weitere 3,4-Bp-Quellen neben dem Rauchen und dem Straßenverkehr können Verbrennungsvorgänge wie z.B. das Braten in einer Küche darstellen (Speiselokal D). Einen Einfluß auf die 3,4-Bp-Rückhaltung in besuchter Raumluft nehmen wohl auch eine Vielzahl anderer Faktoren, die jedoch nicht standardisierbar und nicht rechnerisch erfaßbar sind, so z.B. "staubechluckende" Teppiche, Polstermöbel, Vorhänge etc.

4.4. Vergleich der Ergebnisse mit aus der Literatur bekannten Werten

In einer Vielzahl von Untersuchungen wurde bis heute die Luftbelastung mit Schadstoffen untersucht. Neben dem Staubgehalt, Kohlenmonoxyd und Schwermetallen war 3,4-Benzpyren als Vertreter der universell vorkommenden karzinogenen Kohlenwasserstoffe die am meisten untersuchte Substanz.

Wie aus folgenden Tabellen ersichtlich, stimmen die 3,4-Bp-Werte unserer Messungen von Innenluft und Außenluft in der Stadt Erlangen mit den aus der Literatur bekannten Werten größenordnungsmäßig überein.

Tabelle 17: 3,4-Bp-Messungen in Lokalen und berauchten Räumen

Ort	Zeitpunkt der Messung	Ergebnisse 3,4-Bp(ng/m^3)	Auter und Jahr d. Veröffentlichung
1 Lokal Prag	1962 Sept./Okt.	28,2 -144	GALUSKINOVA 1964
4 Cafes Warschau	1971	0-18,0	JUST et al. 1972
Berauchte Räume:			GRIMMER et al. 1977
20m ³	1975 März	9,7-11,1	
38m ³	1975 März	0-214	
36m ³	1975 März	22 (Mittelwert)	
7 Lokale Erlangen	1980 Juni/Juli	0-14,8	Eigene Unter- suchungen

GALUSKINOVA (1964) berichtet über Konzentrationen von 28,2 bis 144 ng Bp/m³ in der verrauchten Atmosphäre eines Prager Restaurants, wobei in diesen Werten die Bp-Verunreinigung der Großstadtluft mit enthalten ist.

Eine Untersuchungsreihe von JUST et al. (1972) in vier verschiedenen Cafés in Warschau ergab 3,4-Bp-Mengen von 0-18,0 ng/m³.

Gleichzeitig wurden Konzentrationsunterschiede der Innenraum- und Außenluft errechnet, die zwischen 0 und 3,3 ng Bp/m³ lagen.

Die Raumlufthanalysen von GRIMMER et al. (1977) ergeben nach dem Abrauchen einer Versuchszigarette in einem 20 m³ großen Raum eine Bp-Konzentration von 9,7-11,1 ng/m³. Die gleichzeitig in der Außenluft gemessene PAH-Menge (Polycyclic Aromatic Hydrocarbons) betrug in Abhängigkeit von der Jahreszeit zwischen 5 und 68 ng/m³ Benzpyren. Ein weiterer Versuch, bei dem in einem 38 m³ großen Raum gleichzeitig 30 bzw. 15 Zigaretten maschinell unter Standardbedingungen verrauchte worden waren, ergab Bp-Konzentrationen von 88-214 ng/m³ im berauchten Raum, dagegen 0-68 ng Bp/m³ nach Belüftung des Raumes. In einem 36 m³ großen Arbeitsraum, der über einen Zeitraum von 8 Stunden mit stündlich jeweils 5 Zigaretten beraucht worden war, fanden GRIMMER et al. an vier hintereinander folgenden Tagen eine mittlere Bp-Konzentration von 22 ng/m³.

Nach unseren eigenen Untersuchungen in 7 verschiedenen Lokalen in Erlangen (Juni/Juli 1980) ergaben sich Bp-Werte von 0-14,8 ng/m³ Raumlufte.

Tabelle 18: 3,4-Bp-Mengen der Außenluft verschiedener Städte

Ort	Zeitpunkt der Messung	Ergebnisse 3,4-Bp(ng/m^3)	Autor und Jahr d. Veröffentlichung
Prag	1960 Sept/Okt	3-46	GALUSKINOVA 1964
	1961 Sept/Okt	5-31	
	1962 Sept/Okt	3-32	
Hamburg	1962 Winter	183	HETTICHE 1964
	1962 Sommer	17	
12 Städte in NW	1966/67 Winter	14-415	HETTICHE 1968
Essen	1967 Jan.	89-1050	HETTICHE 1968
Ruhrgebiet	1968	30-250	FRIEDRICHS 1971
Erlangen	1971 Apr.-	Über 400	GRÄF 1973
	1972 März	(Maximum)	
Hamburg	1975 Sommer	5-68	GRIMMER 1977
Erlangen	1981 März	2,91-8,24	Eigene Unters.

GALUSKINOVA (1964) ermittelte für die Stadtluft in Prag bei mehreren Messungen im Herbst (September und Oktober) der Jahre 1960, 1961 und 1962 3,4-Bp-Konzentrationen von 3 bis maximal 46ng/m^3 .

HETTICHE (1964) errechnete für die Stadt Hamburg (1962) 183ng 3,4-Bp/m^3 Luft in den Herbst- und Wintermonaten und 17ng/m^3 in den Frühjahrs- und Sommermonaten.

Im Februar und März der Jahre 1966 und 1967 wurden in 12 Städten des Ruhrgebietes zwischen 14 und 415ng Bp/m^3 Luft gemessen. Für den Stadtkreis Essen (1967) ergaben Messungen an drei verschiedenen Stellen Bp-Werte von $89-1050\text{ng/m}^3$ Außenluft (HETTICHE 1968).

Von FRIEDRICHS et al. (1971) sind Jahresmittelwerte von $30-250\text{ng/m}^3$ Benzpyren für 13 Meßstellen des Ruhrgebietes (1968) angegeben worden.

Für die Stadt Erlangen waren bisher nach Untersuchungen von GRÄF (1973) Bp-Werte bis zu einem Spitzenwert von über 400ng/m^3 Luft (Januar und Februar 1972) bekannt.

Unsere Messungen vom März 1981 in Erlangen ergaben Bp-Konzentrationen von $2,91-8,24\text{ng/m}^3$ Luft, was größenordnungsmäßig den Werten von Frühjahr und Sommer 1971 (GRÄF) entspricht.

4.5. Belastung der menschlichen Lunge durch 3,4-Bp - Beispiele

Welche Bp-Belastung ergibt sich nach unseren Messungen für die Lunge eines atmenden Menschen?

Nach SCHMIDT und THEWS beträgt die Atemfrequenz eines Erwachsenen 12-16/min, das Atemvolumen ca. 0,5l. Daraus errechnet sich ein Atemminutenvolumen von 6-8l/min bzw. ein Stundenvolumen von 360-480l/Std.

Wenn ein Besucher des Weinlokals F sich beispielsweise drei Stunden in diesem Raum aufhält und die Luft eine 3,4-Bp-Konzentration von $14,8 \text{ ng/m}^3$ (das sind $14,8 \text{ pg/l}$) aufweist, nimmt er pro Atemzug $7,4 \text{ pg}$ Benzpyren auf. In den drei Stunden sind dies mithin $18,65 \text{ ng}$ 3,4-Bp!

Ein Spaziergänger in Erlangen, der sich im Winter drei Stunden in "frischer Luft" aufhält, die pro Kubikmeter $8,24 \text{ ng}$ 3,4-Bp enthält, nimmt bei jedem Atemzug $4,12 \text{ pg}$ und in dem dreistündigen Spaziergang $10,32 \text{ ng}$ 3,4-Bp auf, d.h. etwas mehr als die Hälfte dessen, was er einatmen würde, wenn er sich im Sommer in einem berauchten Zimmer nach dem obigen Beispiel aufhielte.

5. Zusammenfassung

3,4-Bp in Lokalen im Sommer (1980)

Wir haben in 7 Gaststätten das Ausmaß der Luftverunreinigung durch Tabakrauch, gemessen am 3,4-Bp-Gehalt der Raumluft, bestimmt. Die Messungen fanden sämtlich im Sommer, also in der Nichtheizperiode, statt. Die Lokale unterschieden sich in Raumgröße, Belüftungsanlagen, Zahl der innerhalb der Meßzeit abgerauchten Zigaretten und weiteren Faktoren. Der Staubgehalt der Raumluft errechnet sich aus der Zunahme der Filtergewichte und bewegt sich zwischen 267,44 und 3031,00 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Dabei wurden 3,4-Bp-Werte von 0,46 bis 14,80 ng/m^3 gefunden. Die Zunahme an Staub läuft nicht gleichsinnig mit einer entsprechenden Zunahme an 3,4-Bp.

3,4-Bp in nichtberauchten Räumen und in einer Raucherwohnung im Winter (1981)

Während der Heizperiode (Januar bis März 1981) wurden 7 Räume nach ihrem 3,4-Bp-Gehalt der Innenluft untersucht: eine Nichtraucherwohnung, eine Raucherwohnung, ein unberauchter Kellerraum, ein Dienstzimmer, eine Bibliothek, ein Labor und ein Sterilitätsraum. Der Staubgehalt der untersuchten Luftproben liegt mit 30,65 bis 377,36 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ deutlich unter den in den Lokalen gefundenen Staubkonzentrationen. Die ermittelten 3,4-Bp-Werte bewegen sich zwischen 0,25 und 9,85 ng/m^3 und korrelieren ebenfalls nicht eindeutig mit den entsprechenden Staubmengen.

Zum Vergleich von Innenluft und Außenluft wurden 4 unberauchte Räume nach ihrem 3,4-Bp-Gehalt untersucht, und in unmittelbarem Anschluß daran die jeweilige Umgebungsluft analysiert. Die Luftproben wurden im Winter 1981 entnommen. Die Innenluft war mit Staubmengen von 30,65 bis 38,89 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ belastet, die Außenluft mit 44,49 bis 102,56 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Die 3,4-Bp-Konzentrationen der Raumluft schwanken zwischen 0,64 und 2,59 ng/m^3 und die Konzentrationen der Umgebungsluft zwischen 2,91 und 8,24 ng/m^3 .

6. Literatur

- BORNEFF, J. u. H. KUNTE: Polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe: Vorkommen, Bedeutung und Analytik. Aus: Die Trinkwasserverordnung; Einführung und Erläuterungen für Wasserversorgungsunternehmen und Überwachungsbehörden, E.Schmidt-Verlag, Berlin 1976
- BROCKHAUS, A.: Coll. Internat. Atm. Poll, 14. u. 15. November 1968, Paris
- DEIMEL, M.: Kohlenmonoxid-, Blei-, Stickoxid- u. Benzo(a)pyrenbelastung in Kölner Straßen, Schriftenreihe des Vereins für Wasser-, Boden- und Lufthygiene, G. Fischer Verlag, Stuttgart 1974
- FRIEDRICHS, K.H., J. STUKE et al.: Luftverunreinigung im Ruhrgebiet - Beurteilung eines Meßprogramms unter lufthygienischen Gesichtspunkten, Staub 31, 323-26, 1971
- GALUSKINOVA, V.: 3,4-Benzpyrene determination in the smoky atmosphere of social meeting rooms and restaurants, Neoplasia 11, 465-468, 1964
- GRÄF, W. u. H. BIEHL: Über den naturbedingten Normalpegel kanzerogener polyzyklischer Aromate und seine Ursache, Arch. Hyg. 150, 49, 1967
- GRÄF, W.: 3,4-Benzpyreengehalt in menschlichen Organen verschiedener Altersklassen, 2. Mitteilung, Arch. Hyg. 154, 331, 1970/71
- GRÄF, W.: Umweltgefährdung durch kanzerogene Substanzen, Ärztliche Praxis XXV, Jg. Nr. 91, 4149-4155, 13. Nov. 1973

- GRÄF, W.: Kanzerogene Stoffe, Mensch und Umwelt, Daten und Dokumente zum Umweltschutz, Heft 19, 1976
- GRIMMER, G., H. BÖHNKE u. H.P. HARKE: Zum Problem des Passivrauchens: Konzentrationsmessungen von polyzyklischen aromatischen Kohlenwasserstoffen in Innenräumen nach dem maschinellen Abrauchen von Zigaretten, Int. Arch. Occup. Environ. Hlth 40, 1977, 83-92
- GRIMMER, G., H. BÖHNKE u. H.P. HARKE: Zum Problem des Passivrauchens: Aufnahme von polyzyklischen aromatischen Kohlenwasserstoffen durch Einatmen von zigarettenhaltiger Luft, Int. Arch. Occup. Environ. Hlth 40, 1977, 93-99
- HETTICHE, H.O.: Benzpyrene und Spurenelemente in Großstadtluft, Int. J. Air Wat. Pol. 8, 1964, 185-191
- HETTICHE, H.O.: Die Belastung der Atmosphäre durch polyzyklische Aromaten im Großraum eines Industriegebietes, Schriftenreihe der Landesanstalt für Immissions- und Bodennutzungsschutz des Landes NW, Heft 12, 1968, 92-108
- JUST, J., M. BORKOWSKA and S. MAZIARKA: Tobacco Smoke contained in the Air of Warsaw Coffee Rooms, Roczn. Panstw. Zakl. Hig. 23, 1972, 129
- KENNAWAY, E.L., J.W. COOK et al.: Production of cancer by pure hydrocarbons, Proc. Roy. Soc., London, series B., 111, 455-484, Oct. 1, 1932

- KNORR, M. u. D. SCHENK: Zur Frage der Synthese polyzyklischer Aromate durch Bakterien, Arch. Hyg. 152, 282, 1968
- LICKINT, F.: Tabak und Organismus, Stuttgart, Hippokrates-Verlag 1939
- LOUB, W.: Umweltverschmutzung und Umweltschutz, Verlag F. Dentschke, Wien 1975, 39-42
- MIGUEL, A.H. u. S.K. FRIEDLANDER: Atmospheric Environment, Vol. 12, 1978, 2407-2413
- POTT, P.: The chirurgical Works of Percivall POTT, F.R.S., London 1775, 734-736
- SCHIEVELBEIN, H.: Unfreiwilliges Rauchen. Übersichten. Med. Klin. 73, 1978, 333-340, Nr. 10
- SCHMELTZ, I., D. HOFFMANN u. E.L. WYNDER: The influence of tobacco smoke on indoor atmospheres, Prev. med. 4, 66-82, 1975
- SCHMIDT, R.F. u. G. THEWS: Physiologie des Menschen, Springer Verlag, 1977
- SEIFERT, B. u. D. ULLRICH: Konzentration anorgan. und organ. Luftschadstoffe an einer Straßenkreuzung in Berlin, Staub - Reinhaltung Luft, 38, 1978, 353-363
- VALENTIN, H., H.-P. BOST u. E. WAWRA: Das Passivrauchen am Arbeitsplatz - eine Gesundheitsschädigung? Zbl. Bakt. Hyg., I. Abt. Orig. B 167, 405-434, 1978
- WEISZ, H., A. BROCKHAUS u. G. KÖNN: Untersuchungen über den 3,4-Benzpyrenegehalt von Menschenlungen, Zbl. Bakt. Hyg., I. Abt. Orig. B 155, 142, 1971
- WYNDER, E.L. u. D. HOFFMANN: Current Studies on etiology and prevention. In: Watson, W.L. (Ed.) Lung Cancer, C.V. Mosby, St. Louis 1968

Mein herzlicher Dank gilt Herrn Prof. Dr. Dr. Walter Gräf,
Verstand des Instituts für Umwelthygiene und Präventivmedizin
in Erlangen, für die Annahme und wohlwollende Unterstützung
des Themas dieser Arbeit, für die großzügige Bereitstellung
von Labor und Materialien und für fruchtbare neue Ideen und
bestärkende Gespräche. Besonders bedanken möchte ich mich bei
Herrn Dr. Diether Kersch, der diese Arbeit anregte und be-
traute. Er hat nicht nur meine Untersuchungen aktiv geför-
dert, sondern mir mit seiner Sachkenntnis wichtige Impulse
gegeben. Dank auch meinem Kollegen Herrn Karlheinz Plecher
für labortechnische Anleitungen.

Lebenslauf

Am 6. April 1957 wurde ich, Lucia Maria Greger, als drittes Kind des Schreinermeisters Johann Greger und seiner Ehefrau, der Lehrerin Franziska Greger, geb. Winkler in Neusorg/Opf. geboren.

Von September 1963 bis Juli 1967 besuchte ich die Grundschule in Neusorg. Anschließend trat ich in das Otto-Hahn-Gymnasium in Marktrechwitz ein und legte dort im Juni 1976 das Abitur ab. Nach Erhalt der Zulassung begann ich im Wintersemester 1976 das Studium der Humanmedizin an der Friedrich-Alexander-Universität in Erlangen.

Die Ärztliche Vorprüfung bestand ich am 25. August 1978; den ersten und zweiten Abschnitt der Ärztlichen Prüfung legte ich am 30. August 1979 bzw. am 19. März 1982 ab.

Nach Bestehen der dritten Ärztlichen Prüfung am 19. Mai 1983 erhielt ich am 24. Mai 1983 die Approbation als Arzt.

